

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
**федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования**  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**  
**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт: Электронного обучения  
 Специальность: 140404 Атомные электрические станции и установки  
 Кафедра: Атомных и тепловых электростанций

**ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ**

Тема работы
<b>АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВВЭР-1000 ПРИ ПРОЕКТНОЙ АВАРИИ НА ПЕРВОМ КОНТУРЕ</b>

УДК 621.311.25:621.039.58

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-6101	Недбайлов Петр Николаевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор кафедры АТЭС	А.Г. Коротких	д.ф.м.н., профессор		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры менеджмента	С.И. Сергейчик	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности	Ю.А. Амелькович	к.т.н., доцент		

По разделу «Автоматизация технологических процессов и производств»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры автоматизации технологических процессов	В.С. Андык	к.т.н., доцент		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ст. преподаватель кафедры атомных и тепловых электростанций	М.А.Вагнер	-		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
атомных и тепловых электростанций	А.С. Матвеев	к.т.н., доцент		

Томск – 2017 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



Институт Энергетический

Направление подготовки (специальность) **140404 Атомные электрические станции и  
установки**

Кафедра «Атомных и тепловых электростанций»

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой АТЭС ЭНИН  
А.С. Матвеев

\_\_\_\_\_  
(Подпись)

\_\_\_\_\_  
(Дата)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

**Дипломного проекта**

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студентке:

Группа	ФИО
<b>3-6101</b>	<b>Недбайлову Петру Николаевичу</b>

Тема работы:

**Анализ безопасности эксплуатации ВВЭР-1000 при проектной аварии на первом контуре**

Утверждена приказом директора (дата, номер) 02.12.16г. №10384/6

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**11.01.2017 г.**

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Объект проектирования – система дожигания водорода.

Режим работы – непрерывный.

Исходные данные для расчета: номинальная тепловая мощность реактора – 3000 МВт; число работающих петель – четыре; температура теплоносителя на входе и выходе из активной зоны – 289 и 322 °С; общий объем первого контура – 370 м<sup>3</sup>; эквивалентный диаметр трубопровода первого контура – 850 мм; Рабочее давление в реакторе 16 МПа;

Программа расчета – СОКРАТ/В1.

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Представить схему включения, описание и принцип работы ПТУ с реактором ВВЭР-1000.</li> <li>2. Сформулировать цели и задачи проектирования.</li> <li>3. Представить анализ возможных аварийных ситуаций связанных с выделением водорода на АЭС.</li> <li>4. Представить описание и принцип работы системы дожигания водорода с реактором ВВЭР.</li> <li>5. Провести расчет количества выделившегося водорода при аварии на трубопроводе первого контура. Определить количество, концентрацию и энтальпию водорода в течи.</li> <li>6. Определить экономические затраты эксплуатации системы дожигания водорода.</li> <li>7. Проанализировать рабочие места в реакторном отделении на предмет выявления основных опасностей и вредностей, оценить степень воздействия их на персонал и природную среду.</li> <li>8. Сформулировать основные выводы работы.</li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Принципиальная схема ПТУ с реактором ВВЭР-1000, схема системы дожигания водорода, продольный и поперечный разрез газодувки, контактный аппарат, регулирование системы дожигания водорода, и основные показатели работы.</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>  <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Введение	Коротких А.Г., профессор кафедры атомных и тепловых электростанций
1. Схема и принцип работы ПТУ с энергоблоком ВВЭР	Коротких А.Г., профессор кафедры атомных и тепловых электростанций.
2. Система дожигания водорода	Коротких А.Г., профессор кафедры атомных и тепловых электростанций
3. Расчет количества выделившегося водорода при аварии на трубопроводе первого контура	Коротких А.Г., профессор кафедры атомных и тепловых электростанций
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Сергейчик С.И., доцент кафедры менеджмента
5. Социальная ответственность	Амелькович Ю.А., доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности
6. Автоматизация	Андык В.С., доцент кафедры автоматизации тепловых процессов
Заключение	Коротких А.Г., профессор кафедры атомных и тепловых электростанций
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском языке:</b>	
Введение	
1. Схема и принцип работы ПТУ с энергоблоком ВВЭР	
2. Система дожигания водорода	
3. Расчет количества выделившегося водорода при аварии на трубопроводе первого контура	
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	

5. Социальная ответственность
6. Автоматизация систем управления
Заключение
Список литературы

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	25.09.2016 г.
--	---------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры АТЭС	Коротких Александр Геннадьевич	д. ф.-м. н., доцент		

**Задание принял к исполнению студентка:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-6101	Недбайлов Петр Николаевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-6101	Недбайлову Петру Николаевичу

<b>Институт</b>	<b>Электронного обучения</b>	<b>Кафедра</b>	<b>АТЭС</b>
Уровень образования	инженер	Направление/специальность	140101 Теплоэнергетика и теплотехника

<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	2. Планирование и формирование бюджета научных исследований
– <b>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</b>	
<b>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):</b>	
1. Сетевой график проведения работ 2. Линейный график выполнения работ Сводная смета затрат на выполнение договора	

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	10.10.16
---	----------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Сергейчик С.И	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-6101	Недбайлов Петр Николаевич		

# ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-6101	Недбайлов Петр Николаевич

Институт	ИНЭО	Кафедра	АТЭС
Уровень образования	инженер	Направление/специальность	Атомные электрические станции и установки

## Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	
--	--

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> </ul> <p>электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты).</p>	<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>-- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты).</li> </ul>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> </ul> <p>разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</p>	<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> </ul> <p>разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого</li> </ul>	<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого</li> </ul>

<p>решения;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> </ul> <p>разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</p>	<p>решения;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> </ul>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Амелькович Ю.А.	К.Т.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-6101	Недбайлов Петр Николаевич		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 104 с., 29 рис., 16 табл., 18 источников, 2 прил.

Ключевые слова: система дожигания водорода, контактный аппарат, газодувка, рекомбинатор водорода, водород.

Объектом исследования является система дожигания водорода.

Цель работы – провести анализ безопасности эксплуатации ВВЭР-1000 при проектной аварии на первом контуре.

В процессе исследования проводились расчёт количества выделившегося водорода при аварии на трубопроводе первого контура, расчет аварии с течью первого контура диаметром 850 мм с учетом работы 37 рекомбинаторов водорода.

В результате исследования выявили, что установка системы удаления водорода позволяет избежать образования смесей с возможностью горения и детонации в различные моменты времени. Применение рекомбинаторов позволяет значительно снизить концентрацию водорода в ходе аварии.

Область применения: АЭС с энергоблоком типа ВВЭР-1000

Экономическая эффективность/значимость работы на данном этапе не представляется возможным оценить экономическую эффективность

В будущем планируется дополнительные исследования модернизации системы дожигания водорода.

					ФЮРА. XXXXXX. 001 ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



## Список аббревиатур, используемых в тексте

АЭС – Атомная электростанция;

ВВЭР – Водо-водяной энергетический реактор;

СГО – Спецгазоочистка;

ГЦН - Главный циркуляционный насос;

ЦВД – Цилиндр высокого давления;

ЦСД – Цилиндр среднего давления;

ЦНД – Цилиндр низкого давления;

ДП – Деаэратор подпитки;

ППР – Планово-предупредительный ремонт;

ИНЕС – Международная шкала оценки опасности;

БЩУ – Блочный щит управления;

РБГ – Радиоактивные благородные газы;

БПУ – Блочный пульт управления;

ЗПА – Запроектная авария

ТВЭЛ – Тепловыделяющий элемент;

СГП – Специальное герметичное помещение;

ПРВК – Рекомбинатор водорода;

КД – Компенсатор давления;

ПДУ – Предельно допустимый уровень;

ЭМП – Электромагнитное поле;

ЛД - Лампы дневного света;

ЛДЦ – Лампы дневного света с улучшенной цветопередачей;

ЛХБ – Лампы холодного белого цвета;

ЛТБ – Лампы тёплого белого света;

ЛБ – Лампы белого света;

ИИ – Ионизирующее излучение;

МЭО – Механизм электроисполнительный однооборотный;

## Оглавление

Список аббревиатур, используемых в тексте.....	12
Введение.....	13
1. Схема и принцип работы ПТУ с энергоблоком ВВЭР.....	14
1.1 Краткое описание основного оборудования энергоблока ВВЭР-1000....	14
1.2 Характерные инциденты, происходившие при эксплуатации системы дожигания водорода (система TS10).....	16
1.3 Задачи ВКР.....	21
2. Система дожигания водорода.....	22
2.1 Выделение водорода на станции.....	22
2.2 Назначение, состав системы дожигания водорода (система TS10).....	24
2.2.1 Режимы эксплуатации системы.....	28
2.2.2 Управление и контроль работы системы.....	30
2.3 Меры безопасности.....	31
2.4 Краткое описание оборудования системы дожигания водорода .....	34
3. Расчёт количества выделившегося водорода при аварии на трубопроводе первого контура.....	40
3.1 Описание программы расчёта.....	40
3.2 Результаты расчёта количества выделившегося водорода при аварии на трубопроводе первого контура.....	45
4. Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	58
5. Социальная ответственность.....	67
6. Разработка системы регулирования системы дожигания водорода.....	87
Заключение.....	93
Список используемых источников.....	94
Приложение А перечень контролируемых параметров.....	96
Приложение Б Спецификация приборов и средств автоматики.....	99
Графический материал:	
ФЮРА. XXXXXXX. 002 СБ – Газодувка	
ФЮРА. XXXXXXX. 003 СБ – Контактный аппарат	
ФЮРА. XXXXXXX. 004 ТБ – Сетевое планирование	

ФЮРА. XXXXXXX. 005 СО – Регулирование системы дожигания водорода  
ФЮРА. XXXXXXX. 006 Т3 – Энергоблок ВВЭР-1000. Тепловая схема  
ФЮРА. XXXXXXX. 007 Х6 – Схема системы дожигания водорода

## Введение

Атомная электростанция – это предприятие, является частью топливно-энергетического комплекса Российской Федерации. В свою очередь топливно-энергетический комплекс – это отрасль промышленности, которая обеспечивает энергией и топливом хозяйство страны и ее население. Назначение АЭС – производство электроэнергии при параллельной работе с остальными электростанциями ТЭК.

В настоящее время в России на 10 действующих АЭС эксплуатируется 35 энергоблоков общей мощностью 27206 МВт. Что составляет примерно 16 процентов электроэнергии в нашей стране. Несмотря на относительно долгое время строительства АЭС, себестоимость электроэнергии, вырабатываемой на АЭС, гораздо ниже в сравнении с тепловыми электростанциями, которые используют органическое топливо. Так же, на АЭС отсутствуют выбросы в атмосферу. Учитывая данные факторы все большее внимание уделяется развитию атомной энергетики в России.

Атомная электростанция - очень сложный комплекс, который состоит из большого количества разнообразного оборудования с протекающими в нем разнообразными процессами. Все это оборудование объединено технологической схемой станции.

Система дожигания водорода – неотъемлемая часть технологической схемы атомной электростанции с водоводяными энергетическими реакторами (ВВЭР). Система дожигания водорода является целым комплексом оборудования, предназначенным для снижения содержания водорода в технологических сдувах, направляемых в систему спецгазоотчистки (СГО). Система дожигания водорода маркируется латинскими буквами TS10 и работает при работе системы продувки-подпитки. Система выполнена как система нормальной эксплуатации, важная для безопасности.

# 1. Схема и принцип работы ПТУ с энергоблоком ВВЭР

## 1.1 Краткое описание основного оборудования энергоблока

В настоящий момент АЭС с энергоблоками ВВЭР - наиболее распространённые в России.

Как изображено на рисунке 1, атомные станции с реактором ВВЭР-1000 имеют двухконтурную схему циркуляции.

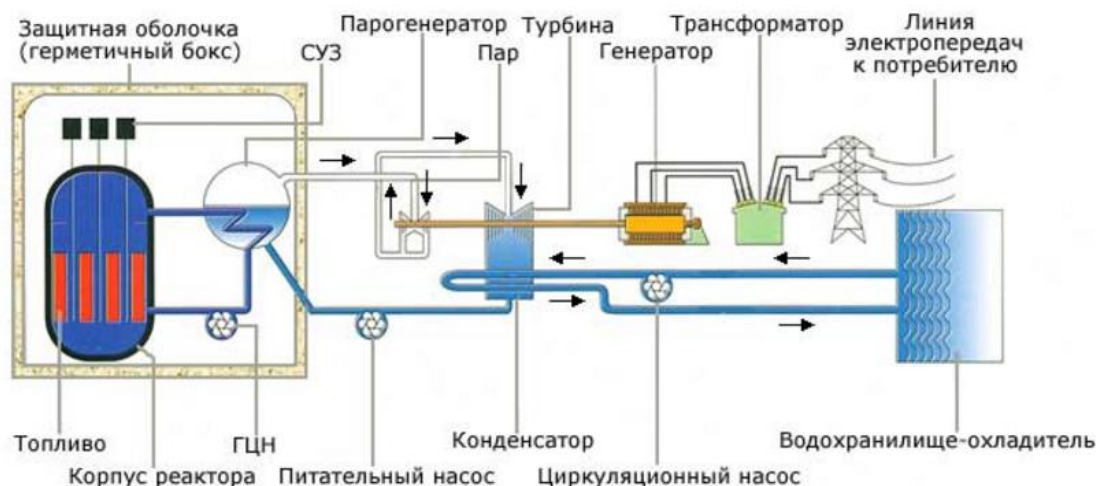


Рисунок 1 – Схема АЭС с энергоблоком ВВЭР[1].

Основное оборудование энергоблока: реактор, парогенератор, главный циркуляционный насос, турбина, генератор, конденсатор [2].

ВВЭР-1000 – водо-водяной энергетический реактор с номинальной электрической мощностью 1000 МВт, тепловая мощность – 3000 МВт[3]. Реактор корпусной, на тепловых нейтронах, гетерогенный. Вода в реакторе используется в качестве теплоносителя первого контура, замедлителя и отражателя нейтронов.

Главные циркуляционные насосы (ГЦН) обеспечивают принудительную циркуляцию теплоносителя первого контура. На блоках с реактором ВВЭР-1000 используются ГЦН-195М. На один реактор приходится 4 ГЦН (по одному на каждую петлю циркуляции). Этот насос является вертикальным центробежным одноступенчатым с консольным рабочим колесом и осевым подводом теплоносителя. ГЦН устанавливается на холодной нитке. Производительность насоса – 20000 м<sup>3</sup>/ч, мощность 8000 кВт, напор 93 м.в.ст.

Одной из важнейших систем первого контура является компенсатор давления, который служит для компенсации изменения объема или давления теплоносителя. Изменения объема или давления в первом контуре являются следствием того, что термодинамические свойства воды сильно зависят от давления и температуры. Компенсатор давления устанавливается на горячей нитке одного из контуров циркуляции (не изображён на рисунке 1).

Оборудование первого контура соединено друг с другом с помощью главных циркуляционных трубопроводов с внутренним диаметром 850 мм.

В парогенераторе тепло от теплоносителя передается теплоносителю второго контура. На энергоблоках с реакторами ВВЭР-1000 используются четыре горизонтальных парогенератора корпусного типа с горизонтально расположенным пучком теплообменных труб ПГВ-1000. Паропроизводительность каждого парогенератора равна 1470 т/ч, тепловая мощность каждого парогенератора равна 750 МВт. Вырабатываемый пар имеет следующие параметры: давление 6,4 МПа, температура 280 °С и влажность не более 0,2%.

Свежий пар, выработанный в парогенераторе, подается на турбину. На энергоблоках с реакторами ВВЭР-1000 установлена тихоходная турбина К-1000-60/1500-2 с номинальной электрической мощностью – 1000 МВт. Номинальное давление свежего пара - 60 кгс/см<sup>2</sup>, число оборотов в минуту - 1500, исполнение турбины второе (ЦВД объединены с ЦСД в один двухпоточный цилиндр ЦВСД) с одним ЦВД и тремя ЦНД. Расположение конденсаторов подвальное.

Отработавший в турбине пар конденсируется в конденсаторе при температуре примерно 25°С. Конденсат из конденсатора проходит через регенеративные подогреватели низкого давления, деаэратор, регенеративные подогреватели высокого давления с помощью питательного и конденсационного насосов и подается обратно в парогенератор. Температура питательной воды при этом повышается до 220 °С.

В конденсатор охлаждающая вода подается с помощью циркуляционного насоса. Вода, проходя через конденсатор, нагревается. Для

					ФЮРА. XXXXXX. 001 ПЗ	Лист
						16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

охлаждения этой воды используется башенные градирни или пруд-охладитель.

## *1.2 Характерные инциденты, происходившие при эксплуатации системы дожигания водорода (система TS10).*

### 1.2.1 Инцидент, происходивший на Хмельницкой АЭС в мае 1994 года. [4]

На первом энергоблоке Хмельницкой АЭС в 20:00 было зафиксировано превышение процентного содержания кислорода в теплоносителе первого контура сверх допустимого уровня (0,005мг/дм<sup>3</sup>). Для ликвидации данного отклонения в 22:30 была начата подача раствора гидразин-гидрата в воду первого контура, что не устранило проблему. В период с 25.04.94 по 06.05.94 применялось добавление в подпитачную воду первого контура аммиака и раствора гидразин-гидрата, что также не оказало благоприятного эффекта на нормализацию водно-химического режима. 08.05.94 по причине нарушения водно-химического режима первый энергоблок был остановлен.

В ходе расследования было выявлено, что причиной данного нарушения было нарушение в работе системы дожигания водорода и дегазации в ДП при снижении расхода пара вследствие заливания водой теплообменников системы дожигания водорода из-за непроходимости дренажей при попадании в них платинового катализатора.

Накопление платинового катализатора произошло из-за повреждения корзины контактного аппарата ещё в 1992 году, и не полное удаление платинового катализатора в периоды проведения ППР-92 и ППР-93. Это и привело к повреждению большого количества арматуры и трубопроводов в системе.

Данный инцидент был оценен уровнем 1 по международной шкале оценки опасности событий (ИНЕС). Такая высокая оценка связана с тем, что данная авария оказала существенное негативное влияние на состояние безопасности АЭС.

					ФЮРА. XXXXXX. 001 ПЗ	Лист
						17
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

### 1.2.2 Авария на АЭС Фукусима-1 (Япония) в марте 2011 года.[5]

Авария на АЭС Фукусима-1 стала следствием техногенных катастроф (сильное землетрясение, цунами) которые обрушились на Японию в мае 2011 года.

Землетрясение, произошедшее 11 марта, привело к срабатыванию систем безопасности и 3 блока на Фукусиме были остановлены. Но спустя час было прервано электроснабжение (в том числе и резервное). Для возобновления подачи электроэнергии на станцию было решено доставить мобильные силовые установки, которые должны были заменить не работающие дизель генераторы. Первая серьёзная ситуация возникла на 1 энергоблоке. Так как энергоснабжение было отключено, в теплоносителе 1 контура повышалась температура и давление. Для предотвращения повреждения реактора было принято решение сбрасывать пар в гермооболочку. Когда давление под гермооболочкой возросло до 8,4 атм (840 КПа), при расчётном давлении 4,0 атм (400КПа), пришлось сбрасывать пар в атмосферу, дабы не разрушилась гермооболочка. Давление удалось сбросить, однако, в гермообъём попал водород в большом количестве.

12 марта в 6:36 на 1 блоке АЭС прогремел взрыв, разрушивший часть бетонных конструкций. Причиной взрыва стала большая концентрация водорода, высокие температура и паросодержание. Реактор не пострадал, но уровень радиации на промплощадке резко вырос. После взрыва было принято решение заполнить гермообъём морской водой с раствором борной кислоты для охлаждения реактора.

13 марта правительство Японии сообщило о возможности взрыва водорода и на 3 блоке АЭС Фукусимы. И 14 марта в 11:01 взрыв произошёл на 3 блоке. Гермооболочка и корпус реактора не пострадали. Так же 13 числа отказала система охлаждения на 2 блоке, после чего началась операция по заполнению гермооболочки 2 блока морской водой с борной кислотой.

15 марта в 6:20 по местному времени прогремел взрыв на 2 энергоблоке. Причиной взрыва как и в предыдущих случаях стал водород и повреждение бака-барботёра. Одновременно с аварией на 2 энергоблоке

					ФЮРА. XXXXXX. 001 ПЗ	Лист
						18
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



произошёл пожар на 4 энергоблоке в хранилище отработавшего ядерного топлива, в следствие чего в атмосферу попали радиоактивные вещества. На устранение пожара потребовалось 2 часа.

16 марта в 8:34 от блока 4 стали подниматься клубы белого дыма. Выявить причину появления дыма не удалось из-за отсутствия персонала на блоке и тяжёлой радиационной обстановки на АЭС.

17 марта удалось прочистить путь к 3 энергоблоку от крупного мусора, попавшему на АЭС после цунами. После этого 6 полицейских грузовиков безуспешно пытались заполнить бассейн выдержки отработавшего ядерного топлива. Затем в район 3-го блока пожарными машинами было вылит 30 тонн воды. Так же 17 числа удалось возобновить подачу электроэнергии на АЭС.

18 марта возобновились попытки охлаждения отработавшего ядерного топлива третьего блока

19 марта через отверстие в стене удалось заполнить водой бассейн выдержки третьего блока.

20 марта аналогичную операцию провели и на 4 блоке, залив в него 160 тонн воды. Так же залито 40 тонн воды в бассейн выдержки второго блока.

21 марта давление в гермообъёме третьего блока упало в три раза до безопасной величины.

22 марта силовые кабели были подключены ко всем 6 блокам станции. Над вторым и третьим блоками были вновь замечены пар и дым, которые рассеялись к концу дня.

23 марта водой заливались бассейны выдержки 3 и 4 блока. Так же над 3 энергоблоком были замечены клубы дыма.

24 марта в гермооболочке 1 блока стало расти давление. В то же время с вертолёт был замечен белый дым над 1 блоком (возможно пар). Для понижения давления было принято решение снизить расход охлаждающей воды.

25 марта восстановлены приборы БЩУ на первом блоке. В бассейн выдержки четвёртого энергоблока залито 150 тонн воды.

					ФЮРА. XXXXXX. 001 ПЗ	Лист
						19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

26 марта давление под оболочкой 1 блока снизилось до прежних величин.

27 марта восстановлены приборы БЩУ на 2 блоке. Начались работы по откачке воды из затопленных турбинных залов в систему конденсата. Работы осложняются высокой активностью воды.

28 – 29 марта продолжается откачка воды из машзала первого энергоблока.

31 марта – 1 апреля принято решение о строительстве рядом с блоками очистных сооружений для решения проблемы затопленных помещений.

2 – 4 апреля было прервано электроснабжение насосов, подающих воду в гермооболочку первого, второго и третьего блока. Была обнаружена течь высокоактивной воды в море (трещина в стене кабельного канала толщиной 20см).

5 – 7 апреля течь высокоактивной воды в море была остановлена. 7 апреля началась подача азота под оболочку гермообъёма для вытеснения водорода.

10 апреля началась уборка обломков помещений 1 и 3 блоков.

11 – 14 апреля в префектуре Фукусима произошло повторное землетрясение после серии афтершоков, вследствие чего было нарушено электроснабжение аварийных энергоблоков на 50 минут. Что означает что охлаждение реакторов было тоже прервано.

15 апреля – 4 мая продолжились работы по защите станции от возможных афтершоков и цунами. Подвелись дополнительные линии электропередач, которые были независимы от ранее подведённых.

5 – 11 мая впервые с начала аварии в реакторное отделение 1 блока вошли люди, установившие оборудование для отчистки воздуха в помещениях. Было найдено место новой течи радиоактивной воды на 3 блоке.

12 – 24 мая начата подготовка к монтажу укрытия 1 энергоблока для предотвращения дальнейшего выхода радиоактивных элементов в окружающую среду.

					ФЮРА. XXXXXX. 001 ПЗ	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

25 мая – 2 июня приостановлена откачка загрязнённой воды из затопленных помещений второго и третьего энергоблока для проведения работ на линиях электроснабжения.

Декабрь 2011 все три реактора были переведены в состояние холодной остановки

Август 2013 произошла утечка трёхсот тонн радиоактивной воды.

К концу 2014 года в области отчуждения накопилось 157000 тонн мусора и радиоактивных отходов.

2016 год – сконструирован специальный робот для разборов завалов в реакторе, экспедиция которого планируется в 2017 году.

Опыт, полученный вследствие данных инцидентов, показал, что, проблема наличия избыточной концентрации водорода в теплоносителе первого контура является очень актуальной в наши дни. И расчёт водорода, выделившегося при аварии на трубопроводе первого контура, является первой ступенькой к предотвращению подобных катастроф в будущем.

					ФЮРА. XXXXXX. 001 ПЗ	Лист
						21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

### 1.3 Задачи ВКР

9. Представить схему включения, описание и принцип работы ПТУ с реактором ВВЭР-1000.

10. Сформулировать цели и задачи проектирования.

11. Представить анализ возможных аварийных ситуаций связанных с выделением водорода на АЭС.

12. Представить описание и принцип работы системы дожигания водорода с реактором ВВЭР.

13. Провести расчет количества выделившегося водорода при аварии на трубопроводе первого контура. Определить количество, концентрацию и энтальпию водорода в течи.

14. Определить экономические затраты эксплуатации системы дожигания водорода.

15. Проанализировать рабочие места в реакторном отделении на предмет выявления основных опасностей и вредностей, оценить степень воздействия их на персонал и природную среду.

8. Сформулировать основные выводы работы.

					ФЮРА. XXXXXX. 001 ПЗ	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ

### РЕССУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

#### Сетевое планирование

Общие сведения о сетевом планировании управления:

Сетевое планирование – метод управления, основанный на использовании математического аппарата теории графов и системного подхода для отображения и алгоритмизации комплексов взаимосвязанных работ, действий или мероприятий для достижения четко поставленной цели.

Основная цель сетевого планирования - сокращение до минимума продолжительности проекта.

Задача сетевого планирования состоит в том, чтобы графически, наглядно и системно отобразить и оптимизировать последовательность и взаимозависимость работ, действий или мероприятий, обеспечивающих своевременное и планомерное достижение конечных целей. Для отображения и алгоритмизации тех или иных действий или ситуаций используются экономико-математические модели, которые принято называть сетевыми моделями, простейшие из них - сетевые графики. С помощью сетевой модели руководитель работ или операции имеет возможность системно и масштабно представлять весь ход работ или оперативных мероприятий, управлять процессом их осуществления, а также маневрировать ресурсами.

Следует выделить следующие понятия, необходимые для сетевого планирования.

Работа – производственный процесс, требующий затрат времени и материальных ресурсов и приводящий к достижению определенных результатов.

По своей физической природе работы можно рассматривать как действие (например, заливка фундамента бетоном, составление заявки на материалы, изучение конъюнктуры рынка), процесс (пример - старение отливок, выдерживание вина, травление плат) и ожидание (процесс,

					ФЮРА. XXXXXX. 001 ПЗ	Лист
						58
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

требующий только затраты времени и не потребляющий никаких ресурсов; является технологическим (твердение цементной стяжки) или организационным (ожидание сухой погоды) перерывом между работами, непосредственно выполняемым друг за другом.

По количеству затрачиваемого времени работа может быть:

- действительной, то есть протяжённым во времени процессом, требующим затрат ресурсов;
- фиктивной (или зависимостью), не требующей затрат времени и представляющей связь между какими-либо работами: передача измененных чертежей от конструкторов к технологам, сдача отчета о технико-экономических показателях работы цеха вышестоящему подразделению.

Событие — это факт окончания одной или нескольких работ, необходимых и достаточных для начала следующих работ. События устанавливают технологическую и организационную последовательность работ. События ограничивают рассматриваемую работу и по отношению к ней могут быть начальными и конечными. Начальное событие определяет начало работы и является конечным для предшествующих работ. Исходным считается событие, которое не имеет предшествующих работ в рамках рассматриваемого сетевого графика. Завершающее – событие, которое не имеет последующих работ в рамках рассматриваемого сетевого графика. Граничное событие - событие, являющееся общим для двух или нескольких первичных или частных сетей.

Путь - это любая последовательность работ в сети, в которой конечное событие каждой работы этой последовательности совпадает с начальным событием следующей за ней работы. Путь от исходного до завершающего события называется полным. Путь от исходного до данного промежуточного события называется путем, предшествующим этому событию. Путь, соединяющий какие-либо два события, из которых ни одно не является исходным или завершающим, называется путем между этими событиями.

Продолжительность пути определяется суммой продолжительностей составляющих его работ. Путь, имеющий максимальную длину, называют критическим.

Для сетевой модели типа "работы-вершины" используются такие обозначения, как веха – некое ключевое событие, обозначающее окончание одного этапа и начало другого; дуга – связь между работами.

Различают различные типы связей в сетевой модели:

- начальные работы;
- конечные работы;
- последовательные работы;
- работы (операции) дробления;
- работы (операции) слияния;
- параллельные работы.

Наиболее распространенными направлениями применения сетевого планирования являются:

- целевые научно-исследовательские и проектно-конструкторские разработки сложных объектов, машин и установок, в создании которых принимают участие многие предприятия и организации;
- планирование и управление основной деятельностью разрабатывающих организаций;
- планирование комплекса работ по подготовке и освоению производства новых видов промышленной продукции;
- строительство и монтаж объектов промышленного, культурно-бытового и жилищного назначения;
- реконструкция и ремонт действующих промышленных и других объектов;
- планирование подготовки и переподготовки кадров, проверка исполнения принятых решений, организация комплексной проверки деятельности предприятий, объединений, строительно-монтажных организаций и учреждений.

Использование методов сетевого планирования способствует сокращению сроков создания новых объектов на 15...20%, обеспечению рационального использования трудовых ресурсов и техники.

Построение сетевого графика:

Дипломный проект состоит из выполнения работ, представленных в таблице 6.

Таблица 6 - Исходные данные для выполнения пункта Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

ШИФР РАБОТ	НАИМЕНОВАНИЕ РАБОТ	Длительность работы $t_{ij}$ , сут	Кол-во работников $n_{ij}$ , чел
0-1	Составление библиографии	5	1
1-2	Распределение литературы по темам	5	1
2-3	Обзор литературы по разделу выделения водорода на первом контуре	7	1
2-4	Обзор литературы по разделу автоматизации систем управления	5	1
2-5	Обзор литературы по разделу социальная ответственность	4	1
2-6	Обзор литературы по разделу финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение	4	1
3-7	Описание основного оборудования АЭС с ЭБ ВВЭР-1000	7	1
7-8	Краткое описание инцидентов, происходящих при эксплуатации системы дожигания водорода	3	1
8-9	Описание процесса образования водорода на АЭС	6	2

Продолжение таблицы 6



9-10	Описание назначения основных элементов системы дожигания водорода	6	2
10-11	Описание режимов эксплуатации системы	5	2
11-12	Описание управления и контроля работы системы дожигания водорода	4	2
12-13	Описание мер безопасности	5	2
13-14	Описание оборудования системы дожигания водорода	5	2
14-15	Расчёт количества выделившегося водорода при аварии на первом контуре	9	1
15-16	Описание программы расчёта	4	1
4-17	Выполнение задания по разделу автоматизация систем управления	9	2
5-18	Выполнение задания по разделу социальная ответственность	7	2
6-19	Выполнение задания по разделу финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10	2
16-20	Присоединение расчётов системы дожигания водорода к основной части диплома	1	1
17-20	Присоединение раздела автоматизации систем управления к основной части диплома	1	1
18-20	Присоединение раздела социальная ответственность к основной части диплома	1	1
19-20	Присоединение раздела финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение к основной части диплома	1	1

					ФЮРА. XXXXXX. 001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

# Продолжение таблицы 6

20-21	Оформление демонстрационных листов	3	2
21-22	Проверка расчетно – пояснительной записки и исправление ошибок	5	2
22-23	Распечатка расчетно – пояснительной записки и демонстрационных листов	2	2
23-24	Сдача расчетно – пояснительной записки	1	1

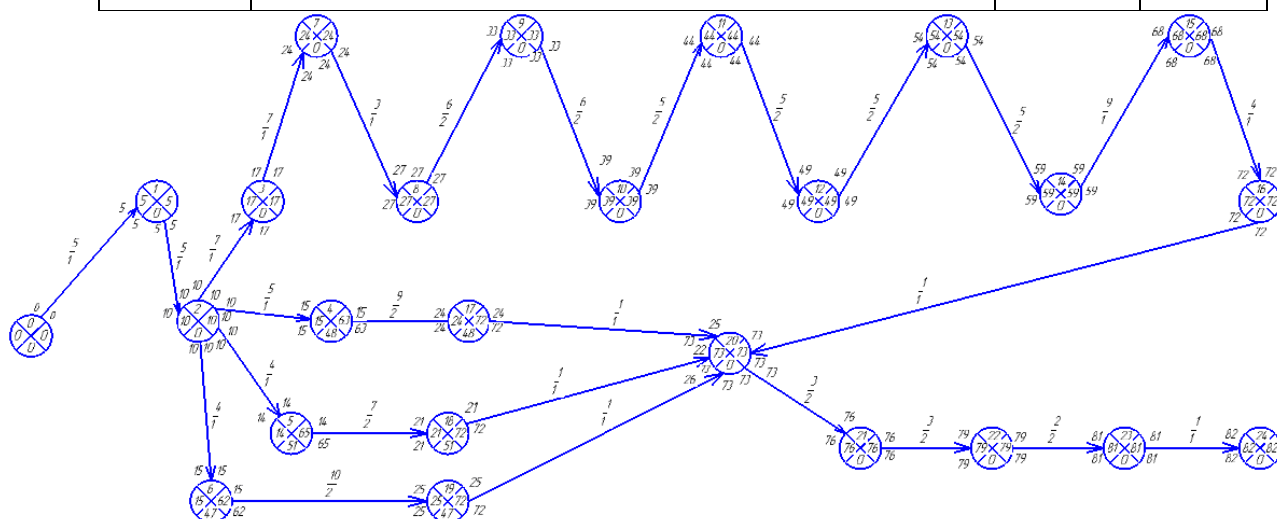


Таблица 7 – Параметры работ сетевого графика

Работа (i,j)	Ранние сроки		Поздние сроки		Резерв времени		
	начало	окончание	начало	окончание	полный	резерв I-го рода	резерв II-го рода
0-1	0	5	0	5	0	0	0
1-2	5	10	5	10	0	0	0
2-3	10	17	10	17	0	0	0
3-4	10	15	10	63	48	0	48
2-5	10	14	10	65	51	0	51
2-6	10	15	10	62	47	0	47
3-7	26	38	26	38	0	0	0
7-8	17	24	17	24	0	0	0
8-9	24	27	24	27	0	0	0
9-10	27	33	27	33	0	0	0
10-11	39	44	39	44	0	0	0
11-12	44	49	44	49	0	0	0
12-13	49	54	49	54	0	0	0
13-14	54	59	54	59	0	0	0
14-15	59	68	59	68	0	0	0
15-16	68	72	68	72	0	0	0
4-17	15	24	63	72	48	0	48
5-18	14	21	65	72	51	0	51
6-19	15	25	62	72	47	0	47
16-20	72	73	72	73	0	0	0
17-20	24	25	72	73	48	0	48
18-20	21	22	72	73	51	0	51
19-20	25	26	72	73	47	0	47
20-21	73	76	73	76	0	0	0
21-22	76	79	76	79	0	0	0
22-23	79	81	79	81	0	0	0
23-24	81	82	81	82	0	0	0

Анализ сетевого графика:

Сложность сетевого графика оценивается коэффициентом сложности, который определяется по формуле:

$$K_{cl} = \frac{n_{раб}}{n_{соб}},$$

где  $n_{раб}$  - количество работ;

$n_{соб}$  - количество событий.

Тогда:

$$K_c = 27 / 24 = 1.13$$

Это говорит о том, что построенный сетевой график является простым.

Критический путь:

(0,1)(1,2)(2,3)(3,7)(7,8)(8,9)(9,10)(10,11)(11,12)(12,13)(13,14)(14,15)(15,16)  
(16,20)(20,21)(21,22)(22,23)(23,24)

Продолжительность критического пути: 82

Составление сметы расходов на выполнение договора:

В осуществлении работ по данному договору было задействовано 5 человека: руководитель проекта - профессор кафедры АТЭС 3 доцента Томского Политехнического университета и исполнитель - ассистент данной кафедры.

Оклад профессора составляет 33200 руб в месяц, оклад доцента 27 500 руб в месяц, а оклад ассистента - 17 500 руб в месяц. Все работы согласно договору были выполнены в срок в течение 82 сут или 3 месяцев. Определим заработную плату каждого работника за этот период:

$$ЗП_{проф} = 33200 \cdot 3 = 99600 \text{ руб}; \quad ЗП_{ас} = 17500 \cdot 3 = 52500 \text{ руб}.$$

$$ЗП_{доц} = 27500 \cdot 3 = 82500 \text{ руб};$$

В итоге фонд заработной платы составил:

$$ЗП = 99600 + 52500 + 3 \cdot 82500 = 399600 \text{ руб}.$$

Начисления на выплаты по оплате труда равны:

$$ВнФ = 0,302 \cdot ЗП = 0,302 \cdot 399600 = 120679 \text{ руб}.$$

Для проведения анализа безопасности эксплуатации ВВЭР-1000 при проектной аварии на первом контуре потребовалось программное обеспечение и расходные материалы, представленные в таблице 8.

					ФЮРА. XXXXXX. 001 ПЗ	Лист
						65
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 8 - Расходные материалы и их стоимость.

Наименование	Кол-во, шт	Цена, руб/шт	Стоимость, руб
Бумага для принтера А4 (500 листов, 80 г/м, белизна 96 %)	2	223	446
Ручка шариковая	4	20	80
Office для дома и учёбы 2016	1	2 500	5199
Прочее	-	-	5000
Итого			10725

Таблица 9 – Сводная смета затрат на выполнение договора.

Наименование статей расходов	Всего, руб
Оплата труда	399600
Начисления на выплаты по оплате труда	120679
Оплата услуг связи	0
Прочие услуги	0
Увеличение стоимости основных средств	5 000
Увеличение стоимости материальных запасов	10725
Итого прямые расходы	536004
Накладные расходы	53600
Итого без НДС	589604
НДС	106129
Итого с НДС	695733